

Tagungsbeitrag zu:
Jahrestagung der DBG, Kommission I
Titel der Tagung:
Böden - eine endliche Ressource
Veranstalter: DBG
Termin und Ort: 05. - 13.09.2009 Bonn
Berichte der DBG (nicht begutachtete online
Publikation) <http://www.dbges.de>

Analyse von Wechselwirkungen zwischen Infiltration und Abfluss in Abhängigkeit von Oberflächenstrukturen mit einem komplexen Beregnungsexperiment

D. Biemelt¹, S. Bartl¹, H.H. Gerke², A. Badorreck^{2,3}, A. Schapp¹

Zusammenfassung

Unser Forschungsprojekt zielt auf die Analyse der Wechselwirkungen zwischen Infiltration und Oberflächenabfluss vor allem unter dem Aspekt der Struktur- und Dynamik während der initialen Boden- und Ökosystementwicklung. Es wurde ein komplexes Beregnungsexperiment realisiert, mit dem sich sowohl Infiltration als auch Flüsse im und auf dem Boden sowie die Entwicklung von Strukturen im Feldversuch gleichzeitig beobachten und quantifizieren lassen. Ein Regensimulator mit zentraler FullJet-Düse erzeugt eine Niederschlagsintensität von ca. 120 mm/h . Die Tropfenspektren und Fallgeschwindigkeiten entsprechen denen natürlicher Starkregen. Ein Laser-Distrometer erfasst das Tropfenspektrum;

¹Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Lehrstuhl Hydrologie und Wasserwirtschaft, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus

²Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. Müncheberg, Institut für Bodenlandschaftsforschung, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg

³Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Lehrstuhl Bodenschutz und Rekultivierung, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus

eine Digitalkamera zeichnet das Regeneignis auf; Tensiometer registrieren den Potentialverlauf im Boden und die Abflussmengen und Sedimentfrachten werden im Zeitverlauf erfasst. Oberflächenstrukturen und Bodenproben werden vor und nach dem Ereignis vermessen bzw. entnommen. Im Feldexperiment mit sandigem quartärem geschüttetem Sediment konnten alle Komponenten im zeitlichen Ablauf erfasst werden. Die Änderung der Fließpfade an der Oberfläche korrespondierte direkt mit einer Änderung in der Abflussrate.

Initiale Böden, Bodenstrukturen, Struktur-entwicklung, Beregnungsexperiment, Fließwege, Infiltration, Oberflächenabfluss

Einleitung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereich/Transregio 38 (SFB/TRR 38) werden Strukturen und Prozesse einer initialen Ökosystementwicklung untersucht. Wichtiges Element hierbei ist die Analyse von Fließwegen des Niederschlagswassers auf und im Boden. Im Unterschied zur Erosionsforschung liegt der Fokus unserer Untersuchungen auf den Wechselwirkungen der Wasserflüsse und der Struktur- und Dynamik während der initialen Boden- und Ökosystementwicklung.

Begleitend zu den nicht-destruktiven Beobachtungen im künstlichen Einzugsgebiet „Hühnerwasser“ werden experimentelle Untersuchungen auf beeinflussbaren Versuchsflächen durchgeführt. Eine Hypothese lautet, dass die anfänglichen Strukturen der Poren und Fließwege die weitere Entwicklung des Systems maßgeblich steuern. Ziel war es zunächst, ein komplexes Beregnungsexperiment zu realisieren, mit dem sich sowohl Infiltration

als auch Wasserflüsse im und auf dem Boden sowie die Entwicklung von Strukturen im Feldversuch gleichzeitig beobachten und quantifizieren lassen. Die Daten sollen in späteren Modell-Simulationen verwendet werden, um das Prozessverständnis der Struktur-Fluss-Wechselwirkungen zu verbessern.

Material und Methoden

Für die Durchführung der Beregnungsexperimente wurde ein bis zu 6 m Höhe ausfahrbares Gestell konstruiert, von dem aus die Beregnung durch eine zentral angeordnete FullJet-Düse erfolgt. Der Versuchsplot wird durch seitliche Planen vor Windeinflüssen geschützt (Abb. 1 links). Sowohl die Intensität des künstlichen Niederschlages, als auch der Durchmesser und die Fallgeschwindigkeit der Tropfen werden mit einem Laser-Distrometer (Parivel) gemessen. Der Oberflächenabfluss wird vollständig aufgefangen und während der Experimente wird der Sedimentgehalt minütlich erfasst. Zusätzlich werden die oberirdischen Wasserflüsse mit Hilfe eines Farbtracers und der Kameraaufnahmen verfolgt sowie die Infiltrationsbereiche markiert.

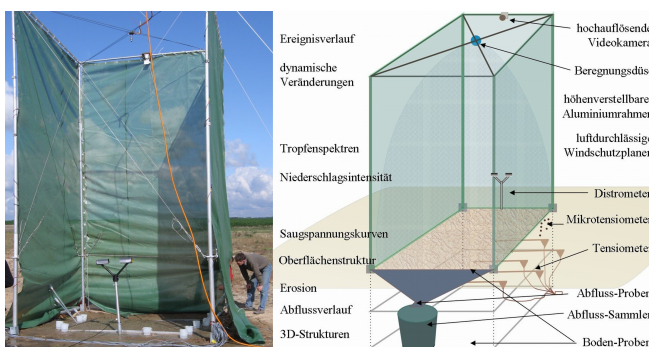


Abb. 1: Foto und schematische Darstellung des Aufbaus und des Messkonzeptes der Beregnungsanlage auf der Experimentalfläche im Kippenbereich des Tagebaus Welzow Süd in der Nähe des künstlichen Wassereinzugsgebietes „Hühnerwasser“

Die Infiltration wird anhand der Aufzeichnung der oberflächennahen Saugspannungsverläufe durch Mikrotensiometer in Einbautiefen von 2 cm, 4 cm, 6 cm und 8 cm ermittelt. Das Fließverhalten im Boden wird weiter durch tiefer liegende Tensiometer (20 cm, 40 cm und 60 cm) erfasst (Abb. 1 rechts).

Die Experimentalflächen befinden sich auf gekipptem sandigem quartärem Substrat des Tagebaus Welzow Süd. Die durchgeführten Korngrößenanalysen von Proben verschiedener Bereiche der Beregnungsplots ergeben $96,67\% \pm 0,461\%$ Sand, $0,12\% \pm 0,009\%$ Schluff und $0,03\% \pm 0,003\%$ Ton ($n=5$). Die Lagerungsdichte ungestörter Stechzylinderproben beträgt $1,62 \text{ g/cm}^3 \pm 0,049$ und die gesättigte Wasserleitfähigkeit liegt bei $803 \text{ cm/d} \pm 400$ ($n=14$).

Um eine realitätsnahe Niederschlagscharakteristik (Abb. 2 und 3) zu erreichen, wurden nach der Aufzeichnung und Analyse natürlicher Regenereignisse Versuche mit verschiedenen Konfigurationen, Apparaturen und Düsen durchgeführt.

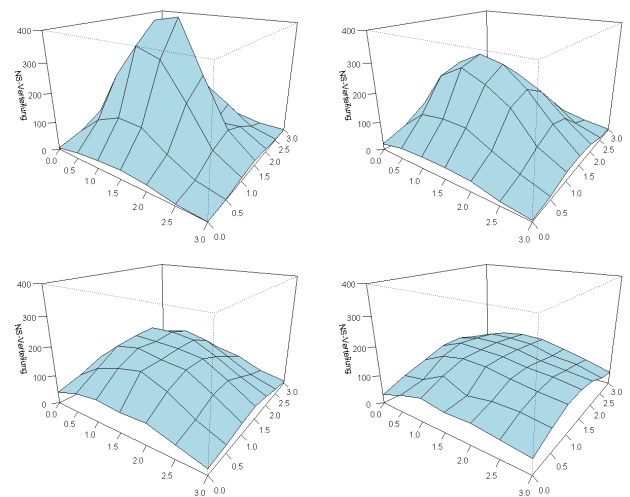


Abb. 2: Optimierung der Niederschlagsverteilung auf der Oberfläche eines 3 m x 3 m-Plots (oben links und rechts: QLGA-25 und QLGA-32 mit Fallhöhe je 2,5 m; unten links und rechts: QLGA-40 mit Fallhöhe 2,5 m und 5 m)

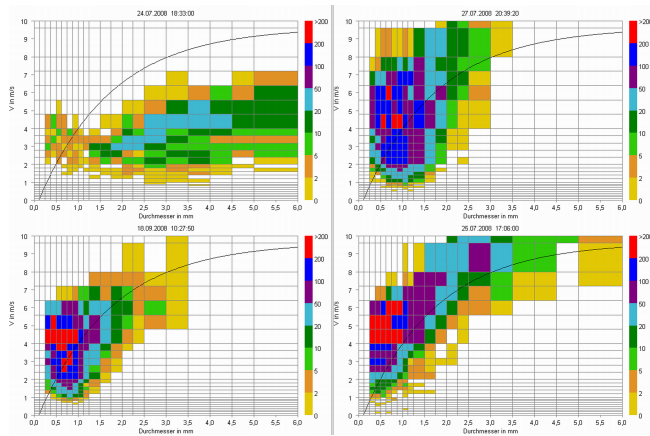


Abb. 3: Optimierung des künstlichen Niederschlages (Gartenregner oben links, kleinere Düse (QLGA-25) oben rechts sowie verwendete Düse (QLGA-40) unten links im Vergleich mit dem Tropfenspektrum und der Fallgeschwindigkeit eines aufgezeichneten natürlichen Gewitter-Ereignisses unten rechts

Durch den Verzicht auf Schwenkmechanismen bleibt das Tropfenspektrum sowie die Intensität des Niederschlages - im Gegensatz zu häufig verwendeten pulsierenden Beregnern - während des Experimentablaufes weitgehend konstant.

Die Verwendung einer einzigen zentralen FullJet-Düse (QLGA-40, Spraying Systems) mit $6,2\text{ mm}$ Öffnungsquerschnitt und einer Fallhöhe von mindestens 5 m schließt zudem Überlappungsbereiche mit zu hohen Intensitäten, wie sie bei Anordnungen mehrerer Düsen auftreten, aus. Es ist gelungen, bei homogener Niederschlagsverteilung innerhalb des Versuchsplots (Abb. 2) ein Tropfenspektrum und eine Fallgeschwindigkeit zu realisieren, die einem natürlichen Starkregenereignis entsprechen (Abb. 3).

Ergebnisse

Die bisherigen Beregnungsversuche zeigen, wie sich das Verhältnis von Oberflächenabfluss und Infiltration im Zeitverlauf eines Ereignisses verändert (Abb. 4). Beim

Versuch vom 20.10.2008 wurde mit einer mittleren Intensität von knapp 150 mm/h über einen Zeitraum von 20 min beregnet. Während die Fläche das Wasser in den ersten zwei Minuten vollständig zurückhält, setzt anschließend eine Phase starken Anstieges des Oberflächenabflusses ein. Nach knapp 5 min erreicht der Abfluss seinen Maximalwert von 50% des Niederschlages. In einer 3. Phase nimmt dieser Wert wieder ab, und der Anteil an Infiltration steigt schnell auf bis zu 90% .

In der 4. Phase bleibt das Verhältnis mit ca. 85% Infiltration und ca. 15% Oberflächenabfluss über 5 min annähernd konstant. Es folgt jedoch eine 5. Phase, in der sich die Infiltrationsleistung wieder verringert und der Abflussanteil auf rund 30% ansteigt.

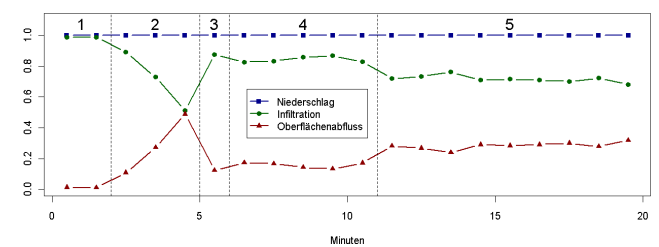


Abb. 4: Verhältniss von Oberflächenabfluss und Infiltration relativ zur Niederschlagsmenge während des Experimentverlaufes)

Die Ausbreitung des Farbtacers Brilliant Blue weist auf ein gleichmäßiges Eindringen einer Feuchtefront durch die Oberfläche in das initiale unbewachsene Substrat hin. Die Saugspannungskurven (Abb. 5) zeigen, dass die Infiltration sich bereits nach 2 min in der ersten Tiefenstufe (2 cm) auswirkt und die oberste Bodenschicht rasch aufgesättigt ist.

Während sich die Feuchtefront anschließend bis 4 cm , 6 cm und 8 cm in die Tiefe verlagert, werden minimale (50%) aber auch maximale Infiltrationsraten (90%) durchlaufen bis sich das $85/15$ Verhältnis einstellt (Abb. 4)

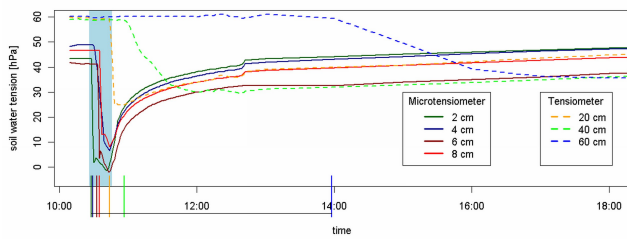


Abb. 5: Saugspannungskurven der in 6 Tiefenstufen eingebauten Tensiometer; der Zeitpunkt der ersten Reaktion ist für jede Tiefenstufe auf der Abszisse markiert

Die Aufsättigung erfolgt ab der Tiefe 4 cm bereits etwas langsamer bzw. wird nicht voll erreicht. Zu diesem Zeitpunkt reduziert sich das Infiltrations-Abfluss-Verhältnis auf 70/30 (5. Phase).

Zum Ende der Beregnung ist die Infiltration bis in 20 cm-Tiefe fortgeschritten, und nach 30 – 60 min beginnt die Befeuchtung auch in 40 cm Tiefe. Die Tiefe 60 cm wird erst nach einigen Stunden vom infiltrierenden Wasser erreicht.

Die detaillierte Strukturaufnahme der Oberfläche mittels Nahbereichsfotogrammetrie liefert ein digitales Geländemodell (DGM) mit einer horizontalen 2 mm Auflösung. Die dynamischen Veränderungen der Oberfläche (Rauigkeit, Ausbildung von Erosions- und Sedimentationsbereichen) und die Oberflächenfließwege können mit einer hochauflösenden Kamera sekundlich aufgezeichnet werden. Auf diese Bilddaten (Abb. 6) werden Auswerteverfahren angewendet die eine Parametrisierung der Oberfläche für die Modellierung ermöglichen sollen.

Schlussfolgerung und Ausblick

In Vorversuchen konnten das Tropfenspektrum, die Fallgeschwindigkeit sowie die Niederschlagsintensität und deren Verteilung auf dem beregneten Plot soweit optimiert werden, dass die auf die

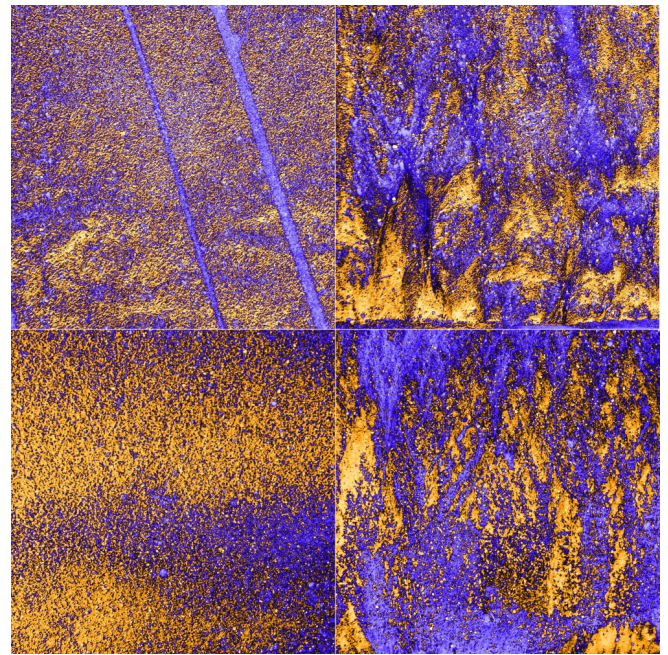


Abb. 6: Photographische Aufnahmen der Oberflächenstruktur vor und nach der Beregnung vom 20.10.2008 (oberes Bildpaar) sowie vor und nach der Beregnung vom 16.07.2009 (unteres Bildpaar)

Bodenoberfläche durch die auftreffenden Tropfen wirkende kinetische Energie den natürlichen Bedingungen eines Starkregenereignisses entspricht. Dies führt zu einer realitätsnahen Ausbildung der Oberflächenstrukturen und Fließwege und der entsprechenden Aufteilung von Infiltration und Oberflächenabfluss. Die messtechnische Erfassung dieser Komponenten im zeitlichen Ablauf eines simulierten Ereignisses konnte erreicht werden. Durch zusätzliche Verwendung von Tracern soll zukünftig das Infiltrationsverhalten im Boden noch detaillierter analysiert werden.

Dieses Projekt ist Teil des Sonderforschungsbereiches/Transregio 38 (SFB/TRR 38), der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, Bonn) und dem Brandenburgischen Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur (MWFK, Potsdam) finanziell gefördert wird. Die Autoren danken ausserdem der Vattenfall Europe Mining AG für die Bereitstellung der Untersuchungsflächen.